



· 综述 ·

## 渔光互补生态经济特征及其发展方向

张家华, 刘兴国\*, 顾兆俊, 程果锋, 朱浩

(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

**摘要:** 渔光互补是近年来快速发展的一种清洁高效生产方式, 为水产养殖提供了巨大的发展空间, 具有清洁、低碳、高效的特点, 但存在基础研究空白、设施系统不规范、养殖技术不足等问题。本文详细介绍了渔光互补的概念及特点, 分析了渔光互补的经济、生态、社会价值, 并结合发展过程中存在的问题提出了发展建议, 为推动我国渔光互补产业健康可持续发展提供了参考。渔光互补模式中, 太阳能模块由于近水表面温度较低从而功率转换效率高; 水面因太阳能板的遮挡蒸发率降低超过 70%, 节约大量养殖用水; 环境友好型的养殖和发电模式促进了生态系统的再发展; 使用智能渔业系统来控制养殖环境, 从而提高鱼类生长速率, 提高养殖经济效益。此外, 从节能减排角度出发, 如果按全国光照强度平均值并结合渔光互补技术, 根据目前正在使用的水产养殖面积, 每年将产生超过 50 MWh 的电力, 节约约 180 亿 t 标准煤, 减少 49.85 Mt 二氧化碳排放。渔光互补是实现“两碳目标”的重要途径, 随着研究的不断深入, 渔光协同的生态经济价值将不断显现, 进一步推动清洁能源生产和水产养殖绿色发展。

**关键词:** 渔光互补; 光伏; 水产养殖; 节能减排

**中图分类号:** S 969

**文献标志码:** A

中国是世界上最大的水产养殖国家, 养殖产量达 5 224.2 万 t, 占全国渔业总产量的 79.8%<sup>[1]</sup>, 为城乡居民提供了约 1/3 的优质动物性蛋白。我国的水产养殖主要采取池塘、大水面、滩涂、稻田等养殖方式, 养殖面积超过 703.6 万 hm<sup>2</sup>, 由于水产养殖仍主要以资源消耗型增长为主, 传统水产养殖存在的环境影响大、能源消耗高、生产效率低等问题逐步显现, 成为制约水产养殖健康发展的主要瓶颈<sup>[2]</sup>。“十二五”以来, 国家提出了“提质增效、减量增收、绿色发展、富裕渔民”的渔业发展目标, 强调继续深化渔业供给侧结构性改革, 高质量发展稳步推进渔业发展<sup>[1]</sup>。“渔光互补”是

21 世纪以来起源于中国的新型渔业方式, 是一种水上发电、水下养殖的新技术<sup>[3]</sup>。渔光互补将太阳能发电与水产养殖相结合, 不占用额外的土地资源, 具有管理成本较低、养殖成本低、节能减排和休闲旅游潜力的优点<sup>[4-6]</sup>。我国有巨大的能源需求, 主要依赖化石燃料, 大量化石燃料的燃烧导致温室气体增加, 全球变暖<sup>[7]</sup>, 如果持续使用化石燃料, 到 2100 年全球水体的 pH 将下降 0.5 个单位<sup>[8]</sup>, 导致海洋酸化、水生物种灭绝等灾难性生态事件发生<sup>[9-10]</sup>, 将对我们赖以生存的地球环境造成深远的影响, 需要我们转向使用清洁和可再生能源<sup>[11-12]</sup>。减少碳排放、提高碳移除是水产

收稿日期: 2021-09-07 修回日期: 2021-10-27

资助项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-46)

第一作者: 张家华 (照片), 从事水产动物遗传育种研究, E-mail: zhangjiahua@fmiri.ac.cn

通信作者: 刘兴国, 从事水域生态与渔业生态工程方面研究, E-mail: liuxingguo@fmiri.ac.cn



养殖业落实“两碳目标”的主要途径，渔光互补是一种清洁、低碳的渔业生产方式，开展渔光互补研究，对于推动我国水产养殖产业高质量发展<sup>[13-15]</sup>，增加渔民收益具有重要意义。

本文介绍了渔光互补的概念及特点，分析了渔光互补的生态经济性和存在的问题，并结合渔光互补的发展趋势提出了发展建议，为推动我国渔光互补产业健康发展提供了参考。

## 1 渔光互补特点与应用推广状况

“渔光互补”是指水产养殖与光伏发电相结合，在养殖设施上方架设光伏板发电，在光伏板下方水域开展水产养殖活动的渔业模式，具有水上持续产出清洁能源，水下产出优质水产品，“渔、电、环保”三丰收的特点<sup>[3,13,16-19]</sup>。渔光互补一般建设在光照强度丰富区域的池塘、湖泊、水库等水产养殖水面上，在建设光伏的同时对养殖设施进行新建或改建、扩建，并建设防止面源污染和内、外源性污染的生态健康养殖区，以及配套的现代化渔业设施、设备和智能化管理系统等。渔光互补克服了陆地光伏发电占用土地的问题，提高了土地产出<sup>[20]</sup>。除此之外，渔光互补改变了传统养殖设施结构，改变了养殖环境条件，延长了养殖周期，提高了养殖产量<sup>[19]</sup>。与传统水产养殖相比，渔光互补改变了收益单一、易受市场影响的问题<sup>[13,21]</sup>，除满足养殖用电外，还可以并网获得电力收益，有利于大规模推广<sup>[17]</sup>。总体来说，“渔光互补”是一种集养殖、发电、环保、旅游等各种优势为一体的新型农业模式<sup>[17,22-25]</sup>。

截至2020年底，我国可再生能源累计装机容量已达9.34亿kW，占全球可再生能源总装机规模的三分之一，特别是风电、光伏，2019年新增装机约1.2亿kW，占全球风电、光伏新增装机容量的一半以上<sup>[26]</sup>。我国可再生能源的大规模发展也促进了以风电、光伏为代表的新能源技术的进步，使全球可再生能源特别是风电、光伏成为新增主力能源<sup>[27]</sup>。为全球能源转型、应对气候变化作出了中国贡献<sup>[28]</sup>。

2012年，全国首座“渔光互补”光伏电站在江苏建湖并网，主要建设在养殖池塘上，一期工程容量为20MW，年发电量达2100万kWh<sup>[29]</sup>；2017年投入运营的浙江慈溪市周巷水库和长河水库“渔光互补”项目，是目前国内已投运行的规模最大的“渔光互补”发电项目，项目总投资18亿元，总水

域面积299.47hm<sup>2</sup>，总装机容量达200MW，预计年均发电量达2.2亿kWh，该项目所发电量全部接入国家电网，业主方年售电收入约2.4亿元，年渔业收入可达1300万元<sup>[30]</sup>。在西南地区，建设中的广西壮族自治区来宾市“渔光互补”光伏发电项目，位于莲花塘水库和铁象水库，占地400hm<sup>2</sup>，由来宾市宾惠综合能源服务有限公司投资15亿元建设，总装机容量300MW，该项目2020年已进入用地规划阶段，即将开工建设<sup>[31]</sup>。近年来，通威集团规划打造了“渔光互补”健康养殖小区，力求光伏发电与池塘养殖并重，实现综合效益最大化，做到生产环境和生产过程生态化，养殖用水优质无污染，养殖排放水可循环利用或无污染排放，取得了良好的效果<sup>[32]</sup>（图1）。

## 2 渔光互补的经济生态社会效益

### 2.1 渔光互补的经济性

渔光互补将光伏发电与设施渔业相结合，并配合开发休闲服务业，具有一、二、三产业叠加，充分发挥土地综合利用效益、节能减排的效果，有利于水产养殖业与光伏发电互相促进、支撑发展（图2）。相较传统光伏发电，渔光互补建设项目的现金流量有了大幅提升，项目投资回收期更短，且有更高的收益率，渔光互补项目投资风险小于传统光伏项目。

第一产业收益——水产养殖 “渔光互补”使养殖环境更加稳定，可提高特定水产品养殖产量、增加收入。由于光伏板对太阳光有遮挡作用，改变了养殖环境，有利于喜阴性名特优品种如中华绒螯蟹（*Eriocheir sinensis*）、凡纳滨对虾（*Litopenaeus vannamei*）、黄颡鱼（*Pelteobagrus fulvidraco*）、河川沙塘鳢（*Odontobutis potamophila*）等的生长，因而有较高的养殖效益<sup>[21]</sup>。如在湖北鄂州20MWp农业光伏科技示范园，在光伏板下开展河川沙塘鳢和中华绒螯蟹混养，33.33hm<sup>2</sup>水面螃蟹产量超过900kg/hm<sup>2</sup><sup>[33]</sup>，养殖收益达到(46.67hm<sup>2</sup>×37500元/hm<sup>2</sup>)175万元，较养殖大宗淡水鱼类(18000元/hm<sup>2</sup>×46.67hm<sup>2</sup>)收益提高了91万元。

渔光互补对特定养殖品种生长有促进作用<sup>[23,34-36]</sup>，有研究发现，6月之前在非光伏区养殖的中华绒螯蟹生长指标均大于光伏区，6月之后光伏区的生长优势逐步显现，最终光伏区的养成规格、产量、成活率等均明显优于非光伏区<sup>[37]</sup>。

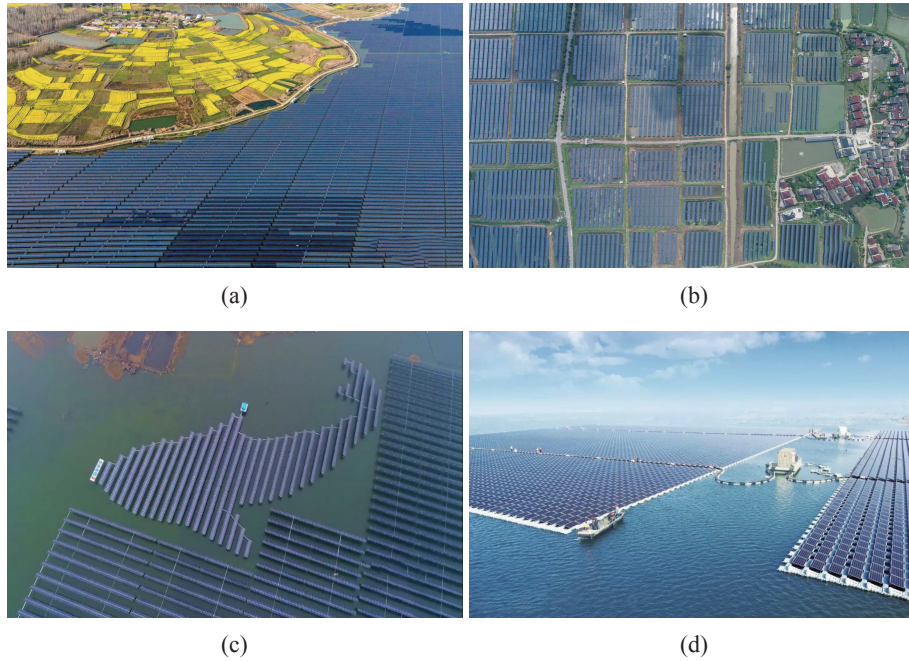


图 1 不同水域渔光互补应用情况

(a) 水库上的渔光互补, (b) 池塘上的渔光互补, (c) 湖泊上的渔光互补, (d) 海上的渔光互补

Fig. 1 The application of fish-light complementation in different waters

(a) fish-light complementation on the reservoir, (b) fish-light complementation on the pond, (c) fish-light complementation on the lake, (d) fish-light complementation on the sea

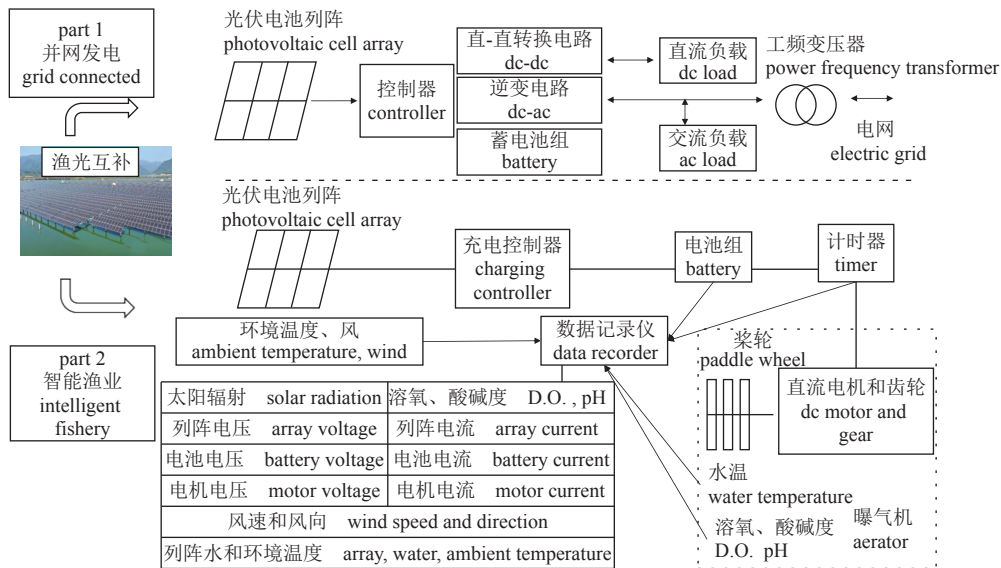


图 2 渔光互补示意图

Fig. 2 Schematic diagram of fish-light complementation

光伏区由于遮光效应, 同一时间内比非光伏区水温略低, 随着水温升高, 光伏板的遮光作用可以显著降低光照强度、降低水温、稳定水温, 有利于中华绒螯蟹和水草的生长, 为中华绒螯蟹和水草创造了更好的生长环境<sup>[38]</sup>。同样, 在对凡纳滨对虾地膜光伏集约工程化养殖实验中, 在相同时

间内, 光伏区养殖水质较为稳定, 日水温差不超过 6 °C, 水温保持在凡纳滨对虾生长最适范围之内, 光伏区养殖凡纳滨对虾的规格、成活率、饲料系数均优于普通池塘<sup>[39]</sup>。

第二产业收益——电力 我国目前发电对煤炭需求量超过 70%, 过渡依赖化石能源, 对经

济发展、环境治理以及社会带来很大的负面影响。根据中国电力科学院预测,2020年我国电力供应缺口达102 GW,2030年预计缺口将进一步扩大到200 GW。根据我国经济发展趋势和资源储备分布情况,2020—2030年的电力供应缺口将主要来自可再生能源,光伏发电将成填补电力缺口的重要部分。光伏发电有显著的经济优势,以江苏常州100 MWp渔光互补直溪光伏发电项目为例,项目所在地多年平均太阳辐射量为5 377.8 MJm<sup>2</sup>/年,属于光资源IV类地区,考虑衰减25年内平均每年发电量为10 513.53万 kWh,营期内总发电量为262 838.25万 kWh。按照国家目前规定的新能源上网电价计算,其发电利润总额将达到135 911.11万元,投资回收期9.55年,自有资金内部收益率8.83%,自有资金财务净现值28 741.23万元,全部投资内部收益率为10.04%,全部投资财务净现值为41 377.9万元,自有资金内部收益率高于基准收益率,经济可行,且具有良好的效益<sup>[40]</sup>。除了在连片池塘建设渔光互补外,我国还有广阔的低洼地和湖泊、水库,在实现水面高效利用的同时增加清洁能源产出,有利于实现渔业高质量发展和渔民增收。

**第三产业收益——旅游科教** 渔光互补具有旅游科普价值,可通过旅游业提升其经济效益。在具体实施过程中,可通过对接高校及科研院所,建立博士工作站,打造区域性水产品牌,赋能乡村振兴。渔光互补在生产高附加值水产品以及绿色能源的同时,还可以结合发展现代休闲观光农业。如通威新能源江苏省级渔业精品园,结合当地的“龙袍汤包”文化,在每年的龙袍蟹黄汤包节,以渔光互补高品质中华绒螯蟹为卖点推广到“蟹黄汤包”为主题的各项文化活动中,并利用大规模渔光互补设施及相关现代化养殖设备吸引游客参观旅游,以此带动观光旅游产业,全面提升产业园的品牌价值,提高了效益<sup>[41]</sup>。渔光互补结合文化旅游发展模式,改变了单一科学普及方式,融入了当地文化,体现了自身特色,有利于吸引大众并普及光伏知识。

## 2.2 渔光互补的生态社会效益

**节水增效作用** 据研究,渔光互补的光伏电板可减少水体蒸发量70%~85%<sup>[42-43]</sup>,有利于降低生产系统的经济和环境成本。渔光互补不仅为水产养殖提供充足的能源,同时可进行节水养殖,

有利于节水减排<sup>[29,40,44]</sup>。渔光互补建设改变了养殖设施结构,一般都建设有养殖区、净化区等,这些设施系统对于保持养殖水质,提高养殖产量,生产优质水产品尤其重要<sup>[45-46]</sup>。目前,在一些渔光互补区建设了渔光温棚,形成了具有循环水的工厂化养殖系统,扩大了水产养殖的空间,改变了养殖方式,节水增效更加明显。此外,与陆地光伏阵列相比,由于水的天然冷却作用,水上光伏结构比陆地光伏结构具有更高的效率,与地面倾斜光伏阵列相比,水上光伏系统的发电效率提高了30%<sup>[22]</sup>。

**碳中和作用** 能源是国民经济的支柱产业,电力“瓶颈”一直广受关注。水力发电受制于地理、地质、气候及人文环境等因素,其对水资源、水生生物资源、水生态环境以及地区陆域环境带来不利影响,发展受到越来越多的限制。火力发电是大量消耗资源、能源的产业,而且存在着的大气污染、水污染等问题;核电则由于安全隐患问题会引起民众的担忧,近年来,一些核电项目因舆情和民众反对而搁置<sup>[47-48]</sup>。因此,发展环境友好的清洁能源是社会高度关注的课题,也是实现碳中和的重要途径。

“渔光互补”被认为是东南沿海及西北部城市最优电力发展方式,近年来逐步向中西部地区拓展<sup>[13]</sup>。渔光互补是一种清洁生产方式,对于实现碳中和目标有重要意义,以江苏省级渔业精品园为例,根据中电联发布的《中国电力行业年度发展报告2019》数据作为参考计算,火电每发电1 kWh,需要标准煤0.36 kg、水0.004 m<sup>3</sup>,排放CO<sub>2</sub> 0.997 t/年、SO<sub>2</sub> 0.03 t/年、粉尘0.272 t/年<sup>[49-50]</sup>。以25年寿命周期为期<sup>[51]</sup>,该项目光伏发电预计总发电量为127 500 kWh,减少使用标准煤45 900 kg、水510 m<sup>3</sup>,减少排放CO<sub>2</sub> 12.7万 t、SO<sub>2</sub> 3 825 t、粉尘34 680 t<sup>[41]</sup>。目前,全国已建光伏装机223 GW<sup>[52]</sup>,按照以上计算,每年可减少碳排放56 642万 t,同时因水产养殖移除碳230万 t<sup>[53]</sup>。

**生态修复作用** 渔光互补具有一定的生态环境修复作用。“渔光互补”光伏电站直接将太阳能转换成电能,“渔光互补”运行时,由于维护产生的固体废物由太阳能电池公司回收,不会产生SO<sub>2</sub>、氮氧化物等对环境有害的物质<sup>[54]</sup>。同时由于增加了地形地貌,改变了水流结构,有利于生态恢复。例如,位于江苏省金湖县渔光互补项目建成后,所在滩涂的生物多样性有所增加,杂草等

的植被覆盖率、平均高度和生物量有所减少<sup>[29]</sup>。国外也有研究发现, 将水上漂浮光伏系统与海水贝类网箱养殖相结合, 既可满足贝类养殖要求, 又成为人工珊瑚鱼礁聚集装置 (FAD), 吸引了大量海洋物种聚集在这些装置周围, 有利于重要衰退物种恢复<sup>[55]</sup>。

### 2.3 渔光互补对水产养殖的推动作用

渔光互补由于其跨界整合模式为水产养殖提供了更大的发展空间, 是水产养殖转型升级的重要方向。

为水产养殖提供了可控的养殖环境 渔光互补对养殖水体中营养物质、温度、pH、盐度、透明度和光周期等有较强的影响作用, 可以更程度的优化水产品养殖条件和成本<sup>[56-58]</sup>。监测显示, 渔光互补可以为不同养殖种类提供理想的生长条件, 无论是温水还是冷水养殖。

光伏驱动的水泵系统可快速交换水体, 增加水体溶氧量和优化溶氧分布, 有益于水产品养殖生产<sup>[43]</sup>。同时, 水体中的溶氧量可以通过光伏供电传感器进行监测, 发电与养殖 2 种监测系统的结合使用, 可更准确的预测水体中的溶氧变化, 有利于保障水产养殖安全。

光强度和光周期变化会影响生态系统的成长和发育<sup>[59]</sup>。不同水生生物对光照强度和光周期的适应性不同, 渔光互补系统中由于光强度和特定波长可以通过人工手段进行控制, 可以通过人为操纵满足水生生物最大生长需求<sup>[56-57]</sup>。有研究发现, 在水上光伏系统结构的底部安装发光二极管 (LED), 操纵水生生物的光周期, 取得了良好的效果<sup>[34]</sup>。这种设计为水产养殖和特定水生生物养殖提供了一个新思路。

为智慧渔业建设提供了可能 智能养殖系统集水质监测、养殖设备控制、视频监控于一体, 可监控养殖水体中的溶氧、水温、pH、氨氮等多项指标, 并对增氧设备、投饵设备、水泵等进行远程操控, 可大大节约劳动力, 提高养殖效率<sup>[60]</sup>。由于养殖智能管理系统构建成本较高, 目前在水产养殖中应用还不多, 渔光互补系统具有较高的生产效益, 光伏管理需要智能化系统, 所以在渔光互补系统建设中, 开发具有渔光一体的智能管理系统成为可能。如在 100 MW 单位装机容量占地 133.33~200 hm<sup>2</sup> 的区域, 借助光伏电站建设的监控管理系统可以实现养殖场现代化管理, 解决

散户养殖存在的水质恶化、污水排放等问题。同时, 池塘改造建设的费用也可以分摊到电站建设成本上, 有利于降低养殖成本, 推动养殖业规模化、集约化、专业化、智能化发展。目前全国人均管理养殖面积约为 3.33 hm<sup>2</sup>, 使用智能化管理系统可以提升至 33.33~66.67 hm<sup>2</sup>, 并可提高养殖产量 0.5~2.0 倍。2014 年, 通威 (江苏) 省级精品渔业园利用渔光互补智能管理系统, 管理 75% 遮光面积池塘养殖黄颡鱼, 养殖效益达 69 405 元/hm<sup>2</sup>; 2015 年用于管理 50% 遮光面积草鱼养殖池塘, 养殖效益达 42 795 元/hm<sup>2</sup>, 与周边传统养殖方式相比, 效益提高 50%~70%。2015 年通威射阳示范基地渔光互补鲫 (*Carassius auratus*) 养殖池塘养殖效益达 49 755 元/hm<sup>2</sup>, 且全程未发病 (周边发病率 45%)<sup>[61]</sup>。

## 3 渔光互补存在的问题

渔光互补虽然有良好的生态经济性和巨大的发展潜力, 但也存在着一些问题。

### 3.1 缺少相关的理论基础研究

渔光互补是一门新兴的学科, 包括光伏发电、水产养殖、微生物学、水化学、设施渔业等众多内容, 由于起步较晚, 发展较快, 相关基础研究还十分缺乏<sup>[62]</sup>。目前, 一些企业开展了一定的研究, 但主要以效益分析为主, 缺乏国家层面对渔光互补基础科学的深入研究, 如在环境影响、系统功能、结构布局、养殖技术和模式以及水环境管理等方面还存在大量空白, 急需从国家及行业战略高度进行部署, 同时需要国家和企业共同努力, 建立产业基础体系。

### 3.2 增加水产养殖设施建设难度

渔光互补需要建设复杂的光伏系统, 势必对水产养殖设施、养殖方式产生影响。目前, 渔光互补还存在着养殖用户接受度不高、投资高、技术要求高、设备维护复杂<sup>[63]</sup> 以及养殖工业化水平不高等问题<sup>[64]</sup>。渔光互补的实施与运行需要专业化养殖企业, 目前在中小养殖企业实施渔光互补仍存在许多困难<sup>[34]</sup>。此外, 小型养殖企业通常缺乏足够的资金和名特水产品的养殖经验, 如虾、鲈和螃蟹等<sup>[65]</sup>, 这也增加了渔光互补推广的难度。

渔光互补虽然有“夏降温、冬保暖”效果, 但也会产生夏季积温不足, 冬季保温不够, 造成养

殖受限等问题<sup>[23]</sup>。另外,渔光互补选址一般在地形开阔、离变电站较近的区域<sup>[29]</sup>,这对于多数处于偏僻区域的养殖场也是一个挑战。渔光互补对养殖的集约化要求较高,粗放的养殖方式也会带来产量降低、病害暴发、尾水污染等,影响养殖总体收益<sup>[19,66]</sup>。

### 3.3 对水产养殖环境的负面影响

光照和水温对鱼类的生理活动有直接影响,会改变鱼类生长和健康状况,并对水体环境产生影响。渔光互补的光伏组件安装面积占比对养殖池塘的浮游植物、浮游动物和CO<sub>2</sub>含量等有明显影响作用<sup>[25]</sup>。光照和温度变化会改变水体中溶氧、氨氮、亚硝酸盐等理化指标及水生植物、微生物结构,进而对鱼类生长及健康状况造成影响<sup>[67]</sup>。此外,在池塘中安装光伏组件还会影响增氧机和投饵机的安装与排布,需要根据池塘大小、光伏安装情况和养殖器械整体考虑<sup>[68]</sup>。在养殖收获时,光伏组件会给捕捞带来不便,捕捞时需使用专用渔具。

## 4 渔光互补发展建议与展望

### 4.1 加强渔光互补的基础性研究

渔光互补创造了强大的协同效应,包括水资源保护、水产品生产、生态系统改善以及发电带来的经济收益等。但渔光互补的基础研究目前还是空白,急需通过产学研结合,研究渔光互补的产业特征、系统结构、环境响应机制,以及产业系统与自然生态系统之间物质和能量的交换和代谢过程,优化与调控方法以及实现产业系统高效、和谐发展的工程建设模式等。通过食物-能量-水的关联分析,厘清光伏与水生生物的相互作用,建立渔光互补产业理论体系。如研究光照和温度变化对水体中溶解氧、氨氮、亚硝酸盐等理化指标及对水生植物、微生物结构、鱼类生长和健康状况的影响等<sup>[67]</sup>。同时,研究暗光环境摄食生长的水生动物如黄颡鱼、中华绒螯蟹等的生长、行为、繁育等特征,以及养殖水环境和有益藻种及微生态等的调控机制。

### 4.2 建立渔光互补技术体系,制订技术规范

渔光互补最早建设在淡水养殖池塘上,经过多年的发展已基本形成一套可行的养殖和发电互补模式。但缺少渔光互补的系统构建技术,渔光

互补设施系统存在着建设不规范、运行效率低及建设成本高等问题。如太阳能光伏电量损耗一般有3大主要损耗,即逆变器损耗、变压器损耗和光伏阵列损耗<sup>[59]</sup>,如何有效减少光伏电力的浪费,需要通过工程手段进行解决。此外,在渔光互补养殖系统中如何解决饲料添加而增加的生化需氧量<sup>[69]</sup>,以及造成的环境污染,同样需要工程技术进行解决。同时,还要研发投喂、施药、捕捞、光伏清理等生产机械化技术和专用设备。因此,需要建立渔光互补技术体系,制订相应的国家和行业性标准规范。2020年中国渔业协会制订了《渔光一体建设要求》团体标准,基本规范了光伏与水产养殖的基本要求,但缺少系统性建设技术要求,从应用情况来看,建设水平依然不高。

### 4.3 研究渔光互补高效养殖技术,形成产业生态模式

我国的渔光互补产业发展很快,由于缺少养殖品种和养殖设施构建技术等相关研究,渔光互补的总体技术水平较低,养殖效益不高,光伏区养殖水域污染依然严重<sup>[69]</sup>,不符合水产养殖绿色发展的要求,需要从产业生态学角度开展系统性研究,充分考量渔业生产与光伏发电的协同性、匹配性和互补性,根据绿色水产养殖要求建立养殖技术体系。滩涂海域的渔光互补应以海上平台提供可靠电力为基础,建立一系列海上资源循环利用的生态渔业养殖模式。内陆湖泊水库建设渔光一体,应充分考虑对大水面生态系统的综合影响作用,建立评估体系;在内陆池塘建设渔光互补,应重点关注渔光互补建设对环境的影响,以及养殖设施的结构形式和养殖管理等。此外,“渔光互补”发展的同时可聚焦光伏产业的科普教育,加大光伏发电知识的普及,倡导低碳生活,促进科技资源的共享和科普工作的社会化。根据地理优势合理规划及建设科教基地,开展科普宣传活动,提升全民科技素质,发挥科技创新作用,引领“渔光互补”绿色发展。

### 4.4 不同地区渔光互补适宜面积预测分析

截止2020年,全国水产养殖面积为703.61万hm<sup>2</sup>,其中池塘养殖面积为262.54万hm<sup>2</sup>。从项目建设难易程度和成本出发,在养殖池塘上建设渔光互补设施较为合适。我国东部沿海地区是池塘养殖的主要区域,同时也存在人口稠密,土地资源稀缺的情况。以江苏省为例,2020年江苏

省水产养殖面积达到 59.85 万  $\text{hm}^2$ , 全国排名第三, 其中池塘养殖面积为 31.64 万  $\text{hm}^2$ , 据推算高密度养殖池塘在 80 d 养殖期用电成本约为 5 250 元/ $\text{hm}^2$ , 在不改变土地性质的前提下, 若将池塘都改造为渔光互补池塘, 将节约用电成本 16 亿元。根据中国气象局风能太阳能资源评估中心最新的总辐射年总量空间分布模拟结果显示, 四川、贵州两省是我国太阳能资源最少的地区, 全年辐射量在 4 200  $\text{MJ}/\text{m}^2$  以下, 属于光伏四类地区且工程建设难度普遍较高, 较不适宜作为渔光互补推广地区。广东南部不仅属于光伏二类地区, 且淡水、海水养殖面积广阔、土地平坦、经济发达, 不仅能发展池塘渔光互补, 还可以探索海上渔光互补模式, 为渔光互补的发展增添新潜力。

总之, 渔光互补是一项具有发展潜力的清洁高效的生产方式, 是实现“两碳目标”的重要途径, 相信随着研究的不断深入, 渔光协同的生态经济价值将不断显现, 进一步推动清洁能源生产和水产养殖绿色发展。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴-2020[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.  
Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Fisheries Society. China fishery statistical yearbook 2020[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2020 (in Chinese).
- [2] 崔正国, 曲克明, 唐启升. 渔业环境面临形势与可持续发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2018, 20(5): 63-68.  
Cui Z G, Qu K M, Tang Q S. Study on situations and sustainable development strategies of China's fishery environment[J]. Engineering Science, 2018, 20(5): 63-68 (in Chinese).
- [3] 郝多. “渔光一体”推动水产养殖转型升级[J]. 水产科技情报, 2016(4): 220-221.  
Hao D. ‘Fish-light complementation’ promotes the transformation and upgrading of aquaculture[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2016(4): 220-221 (in Chinese).
- [4] 杨茂, 王少帅, 李大勇, 等. 全寿命周期下考虑环境效益的集中式光伏发电成本-效益分析[J]. 东北电力大学学报, 2018, 38(6): 21-28.  
Yang M, Wang S S, Li D Y, et al. Cost-benefit analysis of centralized photovoltaic power generation considering environmental benefit under the life cycle[J]. Journal of Northeast Electric Power University, 2018, 38(6): 21-28 (in Chinese).
- [5] Eltawil M A, Elsbaay A M. Utilisation of solar photovoltaic pumping for aeration systems in aquaculture ponds[J]. International Journal of Sustainable Energy, 2016, 35(7): 629-644.
- [6] Sahu A, Yadav N, Sudhakar K. Floating photovoltaic power plant: a review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 66: 815-824.
- [7] Moss R H, Edmonds J A, Hibbard K A, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment[J]. Nature, 2010, 463(7282): 747-756.
- [8] Hall-Spencer J M, Rodolfo-Metalpa R, Martin S, et al. Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification[J]. Nature, 2008, 454(7200): 96-99.
- [9] Orr J C, Fabry V J, Aumont O, et al. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms[J]. Nature, 2005, 437(7059): 681-686.
- [10] Kroeker K J, Kordas R L, Crim R N, et al. Response to technical comment on “meta-analysis reveals negative yet variable effects of ocean acidification on marine organisms”[J]. Ecology Letters, 2011, 14(9): E1-E2.
- [11] Tsoutsos T, Papadopoulou E, Katsiri A, et al. Supporting schemes for renewable energy sources and their impact on reducing the emissions of greenhouse gases in Greece[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, 12(7): 1767-1788.
- [12] Longo A, Markandya A, Petrucci M. The internalization of externalities in the production of electricity: willingness to pay for the attributes of a policy for renewable energy[J]. Ecological Economics, 2008, 67(1): 140-152.
- [13] 辛硕, 李志攀, 张统, 等. 光伏发电与高效渔业养殖综合项目概述[J]. 科技经济导刊, 2018(19): 117.  
Xin S, Li Z P, Zhang T, et al. Overview of the integrated project on photovoltaic power generation and efficient fisheries farming[J]. The Guide of Science & Education, 2018(19): 117 (in Chinese).
- [14] 陈松楠, 杜永强. 渔业物联网的研究现状及发展趋势[J]. 信阳农林学院学报, 2018, 28(1): 119-121.  
Chen S N, Du Y Q. Research status and development trend on fishery internet of things[J]. Journal of Xinyang

- Agriculture and Forestry University, 2018, 28(1): 119-121 (in Chinese).
- [15] 李灏, 任涵玮, 阚峥, 等. 渔业物联网的研究现状及发展趋势[J]. 农家科技(下旬刊), 2019(2): 265.  
Li H, Ren H W, Kan Z, *et al.* Research status and development trend on fishery internet of things[J]. *Nongjia Keji*, 2019(2): 265 (in Chinese).
- [16] 田凯. 光伏发电产业概况[J]. 科技创新与应用, 2020(9): 56-57.  
Tian K. Overview of the photovoltaic power generation industry[J]. *Technology Innovation and Application*, 2020(9): 56-57 (in Chinese).
- [17] 赵轶洁, 孟宪学, 王聚博. 探索“渔光互补”发展光伏农业——以鄂州20MWp农业光伏科技示范园为例[J]. *安徽农业科学*, 2015(22): 360-362.  
Zhao Y J, Meng X X, Wang J B. Explore the complementary model of fishery and photovoltaic power to promote eco-agriculture—a case study of ezhou agricultural demonstrative of 20MWp photovoltaic power station[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015(22): 360-362 (in Chinese).
- [18] 武威. 浙江某地区渔光互补发电工程研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2018.  
Wu W. A study of fishery photovoltaic hybrid supply system in an area of Zhejiang[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2018 (in Chinese).
- [19] 赵博礼. 渔光一体模式中环境微生物群落结构及多样性的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.  
Zhao B L. Study on community structure and diversity of environmental microbial in the photovoltaic fishery mode[D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2016 (in Chinese).
- [20] 陆冉. 渔光互补电站站址选择的要点[J]. *太阳能*, 2015(10): 34-36.  
Lu R. Key points of site selection of fish-light complementary power station[J]. *Solar Energy*, 2015(10): 34-36 (in Chinese).
- [21] 刘汉元, 钟雷, 谢伟, 等. “渔光互补”在江苏地区发展前景及应用思考[J]. *当代畜牧*, 2014(32): 94-95.  
Liu H Y, Zhong L, Xie W, *et al.* "Fish-light complement" in Jiangsu region development prospects and application of thinking[J]. *Contemporary Animal Husbandry*, 2014(32): 94-95 (in Chinese).
- [22] Pringle A M, Handler R M, Pearce J M. Aquavoltaics: synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 80: 572-584.
- [23] 陈燮燕, 赵吉臣, 唐圣利, 等. 凡纳滨对虾地膜光伏集约工程化养殖试验[J]. *渔业现代化*, 2020, 47(1): 24-30.  
Chen X Y, Zhao J C, Tang S L, *et al.* Experiment on film photovoltaic intensive engineering culture of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Fishery Modernization*, 2020, 47(1): 24-30 (in Chinese).
- [24] Choi Y K. A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact[J]. *International Journal of Software Engineering and its Applications*, 2014, 8(1): 75-84.
- [25] 瞿彪, 吴宗文, 谢伟, 等. “渔光一体”对黄颡鱼养殖池塘浮游生物的影响[J]. *水产养殖*, 2015, 36(7): 6-9.  
Qu B, Wu Z W, Xie W, *et al.* Effect of “Fishing light complementary” on plankton in catfish pond[J]. *Journal of Aquaculture*, 2015, 36(7): 6-9 (in Chinese).
- [26] 李鹏, 陈一言. 引领可再生能源由高速发展转向高质量发展——专访清华大学教授、青海大学副校长梅生伟[J]. *太阳能*, 2020(11): 5-8.  
Li P, Chen Y Y. Interview with Mei Shengwei, professor of Tsinghua University and vice president of Qinghai University[J]. *Solar Energy*, 2020(11): 5-8 (in Chinese).
- [27] 成功. 稳中有进 成本持续下降——2018年全球可再生能源现状分析[J]. *能源评论*, 2019(8): 60-63.  
Cheng G. Steady progress and continuous decline in cost-analysis of the current situation of global renewable energy in 2018[J]. *Energy Review*, 2019(8): 60-63 (in Chinese).
- [28] 国家能源局. 国新办举行中国可再生能源发展有关情况发布会 [EB/OL]. (2021-03-30). [http://www.nea.gov.cn/2021-03/30/c\\_139846095.htm](http://www.nea.gov.cn/2021-03/30/c_139846095.htm).  
National Energy Administration. The State Council New Office held a press conference on China's renewable energy development. [EB/OL]. (2021-03-30). [http://www.nea.gov.cn/2021-03/30/c\\_139846095.htm](http://www.nea.gov.cn/2021-03/30/c_139846095.htm).
- [29] 张磊, 叶海瑞, 柏嵩, 等. 江苏公司建湖渔光互补项目典型案例分析[J]. *中国军转民*, 2020(15): 29-30.  
Zhang L, Ye H R, Bo S, *et al.* Typical case study of Jiangsu company's construction lake fish-light complementary project[J]. *Defense Industry Conversion in China*, 2020(15): 29-30 (in Chinese).
- [30] 章勇涛. 国内规模最大“渔光互补”光伏发电项目投入运营[J]. *宁波通讯*, 2017(2): 29.  
Zhang Y T. The largest "fish light complementary" China Water Resources Association sponsored by China Society of Fisheries



- photovoltaic power generation project in China has been put into operation[J]. Ningbo Communication, 2017(2): 29 (in Chinese).
- [31] 兴宾区融媒体中心. 兴宾区规划建设 300 兆瓦渔光互补光伏电站项目 [EB/OL]. (2020-03-19). <http://www.xingbin.gov.cn/xwzx/gddt/t2515497.shtml>. Rong Media Center, Xingbin District. Xingbin District plans to build a 300 MW fish-light complementation photovoltaic power station project. [EB/OL]. (2020-03-19). <http://www.xingbin.gov.cn/xwzx/gddt/t2515497.shtml>.
- [32] 唐东东, 郭异忠. 通威专注"渔光一体"模式打造[J]. 海洋与渔业·水产前沿, 2017(12): 38. Tang D D. Guo Yizhong. Tongwei focuses on the "integration of fishing and light" model[J]. *Ocean and Fishery*, 2017(12): 38 (in Chinese).
- [33] 韩世成, 郭常有, 蒋树义, 等. 工厂化水体LED光照沉水植物对氨氮的吸收[J]. 水产学杂志, 2013, 26(4): 47-50. Han S C, Guo C Y, Jiang S Y, *et al.* Removal of ammonia in a recirculating aquaculture by submerged plants under LED illumination[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2013, 26(4): 47-50 (in Chinese).
- [34] Ogunremi J B, Oladele O I. Adoption of aquaculture technology by fish farmers in Lagos State, Nigeria[J]. *Life Science Journal*, 2012, 9(2): 329-333.
- [35] 吴立峰, 牛超, 张浩, 等. 渔光一体池塘光伏区和非光伏区中华绒螯蟹二龄蟹的养殖生长比较[J]. 淡水渔业, 2021, 51(3): 108-112. Wu L F, Niu C, Zhang H, *et al.* Comparison study of the growth of *Eriocheir sinensis* in the photovoltaic and non-photovoltaic area in the Yuguangyiti ponds[J]. *Freshwater Fisheries*, 2021, 51(3): 108-112 (in Chinese).
- [36] 瞿彪, 谢伟, 吴宗文, 等. 模拟"渔光一体"遮光对黄颡鱼生长的影响[J]. 科学养鱼, 2015(11): 38. Qu B, Xie W, Wu Z W, *et al.* Simulate the effect of "fish-light complementary" blackout on the growth of jaundice[J]. *Scientific Fish Farming*, 2015(11): 38 (in Chinese).
- [37] 王武, 成永旭, 李应森. 河蟹的生物学[J]. 水产科技情报, 2007, 34(1): 25-28. Wang W, Cheng Y X, Li Y S. The biology of crabs[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2007, 34(1): 25-28 (in Chinese).
- [38] 王珊珊, 吴艳丽. 渔光一体 虾蟹混养效益好[J]. 渔业致富指南, 2016(22): 37-38. Wang S S, Wu Y L. Fishing light one shrimp crab mixed breeding benefits are good[J]. *Fishery Guide to be Rich*, 2016(22): 37-38 (in Chinese).
- [39] 陈昌生, 叶兆弘, 纪德华, 等. 南美白对虾摄食、生长及存活与温度的关系[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2001, 6(4): 296-300. Chen C S, Ye Z H, Ji D H, *et al.* Effect of temperature on growth, food intake and survival rate in *Penaeus vannamei* under different temperature conditions[J]. *Journal of Jimei University (Natural Science)*, 2001, 6(4): 296-300 (in Chinese).
- [40] 刘马军. 江苏常州 100 MWp"渔光一体"直溪光伏发电项目可行性研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2015. Liu M J. The feasibility study of the 100 MWp "Fishery and photoelectricity integration" Zhixi photovoltaic power generation project in Changzhou, Jiangsu[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2015 (in Chinese).
- [41] 熊志康, 刘佳祺, 沈美琪, 等. 渔光一体项目的效益分析——以TW新能源省级渔业精品园为例[J]. 热带农业工程, 2020, 44(3): 38-42. Xiong Z K, Liu J Q, Shen M Q, *et al.* Benefit analysis of integrated project of fishing and lighting-taking TW new energy provincial fishery boutique park as an example[J]. *Tropical Agricultural Engineering*, 2020, 44(3): 38-42 (in Chinese).
- [42] Ferrer-Gisbert C, Ferrán-Gozávez J J, Redón-Santafé M, *et al.* A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs[J]. *Renewable Energy*, 2013, 60: 63-70.
- [43] McKay A. Floatovoltaics: quantifying the benefits of a hydro-solar power fusion[J]. Pomona Senior Theses, 2013, Paper 74.
- [44] Cazzaniga R, Rosa-Clot M, Rosa-Clot P, *et al.* Floating tracking cooling concentrating (FTCC) systems[C]/2012 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. Austin, TX, USA: IEEE, 2012: 514-519.
- [45] Buschmann A H, Varela D A, Hernández-González M C, *et al.* Opportunities and challenges for the development of an integrated seaweed-based aquaculture activity in Chile: determining the physiological capabilities of *Macrocystis* and *Gracilaria* as biofilters[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2008, 20(5): 571-577.
- [46] Neori A, Chopin T, Troell M, *et al.* Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture[J]. *Aquaculture*, 2004, 231(1-4): 361-391.
- [47] 吴宗鑫, 吕应运. 以煤为主多元化的清洁能源战略——我国未来能源可持续发展战略的探讨[J]. 清华大学学

- 报(哲学社会科学版), 2000, 15(6): 72-76.
- Wu Z X, Lv Y Y. The coalbased diversified cleaning energy strategy-China's future sustainable energy development strategy[J]. *Journal of Tsinghua University (Philosophy and Social Sciences)*, 2000, 15(6): 72-76 (in Chinese).
- [48] 吴贵辉. 大力发展清洁能源推进电力可持续发展[J]. *电网与清洁能源*, 2008, 24(9): 1-2.
- Wu G H. Vigorous development of renewable energy promote continuous development of electricity[J]. *Power System and Clean Energy*, 2008, 24(9): 1-2 (in Chinese).
- [49] 宁军容. 火力发电企业碳排放成本核算研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2015.
- Ning J R. Research on building of carbon emissions cost accounting system in themal power company[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2015 (in Chinese).
- [50] 白牡丹. 火力发电企业环境成本核算体系构建与应用研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2010.
- Bai M D. Research on the contitution of thermai power enterpises' environmental coat calculating system and its application study[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2010 (in Chinese).
- [51] 皮薇. 全寿命周期的分布式光伏发电的成本—效益研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- Pi W. Study on cost-effectiveness of distributed PV based on the whole life cycle[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015 (in Chinese).
- [52] 全国新能源消纳监测预警中心. 2020 前三季度全国各省光伏装机、发电量情况一览 [EB/OL]. (2020-11-02). <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20201102/1113183.shtml>.
- National New Energy Consumption Monitoring and Early Warning Center. IList of photovoltaic installed capacity and power generation in all provinces in the first three quarters of 2020. [EB/OL]. (2020-11-02). <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20201102/1113183.shtml>.
- [53] 唐启升. 碳汇渔业与又好又快发展现代渔业[J]. *江西水产科技*, 2011(2): 5-7.
- Tang Q S. Carbon sink fishery and good and fast development of modern fishery[J]. *Jiangxi Fishery Sciences and Technology*, 2011(2): 5-7 (in Chinese).
- [54] 李海涛, 林炬, 陈荣, 等. “渔光互补”型光伏电站对生态环境影响的探究[J]. *城市地理*, 2016(20): 98-99.
- Li H T, Lin J, Chen R, *et al.* The exploration of the ecological environment of "fishing light complementary" photovoltaic power station[J]. *Global City Geography*, 2016(20): 98-99 (in Chinese).
- [55] Halweil B. Farming fish for the future[J]. *Worldwatch Paper*, 2008, 176(176): 1-42.
- [56] Meseck S L, Alix J H, Wikfors G H. Photoperiod and light intensity effects on growth and utilization of nutrients by the aquaculture feed microalga, *Tetraselmis chui* (PLY429)[J]. *Aquaculture*, 2005, 246(1-4): 393-404.
- [57] Boeuf G, Le Bail P Y. Does light have an influence on fish growth?[J]. *Aquaculture*, 1999, 177(1-4): 129-152.
- [58] Diana J S. Aquaculture production and biodiversity conservation[J]. *BioScience*, 2009, 59(1): 27-38.
- [59] 邓光, 李夜光, 胡鸿钧, 等. 温度、光照和pH值对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用的影响及光暗周期对其生长速率和生物量的影响[J]. *武汉植物学研究*, 2004, 22(2): 129-135.
- Deng G, Li Y G, Hu H J, *et al.* Effects of temperature, light and ph on photosynthesis, and of light-dark cycle on growth rate and biomass of scrippsella trochoidea and alexandrium tamarense[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2004, 22(2): 129-135 (in Chinese).
- [60] 董杰武, 康萌, 王进, 等. 寒地“渔光一体”池塘养殖松花江鳊商品鱼技术[J]. *黑龙江水产*, 2020, 39(5): 34-35,40.
- Dong J W, Kang M, Wang J, *et al.* Coldland "fishing-light one" pond culture Songhua River mackerel commodity fish technology[J]. *Heilongjiang Fisheries*, 2020, 39(5): 34-35,40 (in Chinese).
- [61] 梁勃朗. “渔光一体”模式助推现代渔业转型升级[J]. *科学养鱼*, 2016(10): 13-15.
- Liang Q L. The "fish-light integration" model promotes the transformation and upgrading of modern fisheries[J]. *Scientific Fish Farming*, 2016(10): 13-15 (in Chinese).
- [62] 梁忠武. 浅析海水养殖渔光互补光伏发电项目的发展前景和实施要点[J]. *科研*, 2015, 4(10): 10,12.
- Liang Z W. A brief analysis of the development prospects and implementation points of marine aquaculture fishery and light complementary photovoltaic power generation projects[J]. *Research*, 2015, 4(10): 10,12 (in Chinese).
- [63] 宋迁红, 赵永锋. 常熟渔光互补项目情况介绍[J]. *科学养鱼*, 2016(10): 16-17.
- Song Q H, Zhao Y F. Introduction to Changshu fishery light complementary project[J]. *Scientific Fish Farming*, 2016(10): 16-17 (in Chinese).

- [64] Asche F, Khatun F. Aquaculture: issues and opportunities for sustainable production and trade[C]//ICTSD Natural Resources, International Trade and Sustainable Development. Geneva: ICTSD, 2006(5): 63.
- [65] 张月. 湖北名特种水产品养殖的现状、问题及对策[J]. 时代经贸(学术版), 2008, 6(8): 115-117.  
Zhang Y. Current situation, problems and countermeasures of special aquatic products breeding in Hubei Province[J]. Economic & Trade Update, 2008, 6(8): 115-117 (in Chinese).
- [66] 王武. 鱼类增养殖学 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2000.  
Wang W. Fish culture[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2000.
- [67] 翟程远. 益阳北港长河100 MW渔光互补型光伏电站电气优化设计[J]. 科学技术创新, 2021(3): 145-147.  
Zhai C Y. Electrical optimization design of 100 MW fishing light complementary photovoltaic power station in Changhe, Beigang, Yiyang[J]. Scientific and Technological Innovation, 2021(3): 145-147 (in Chinese).
- [68] Liu M H, Yu H X, Liu Q G, *et al.* Water quality evaluation index system for freshwater aquaculture pond[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(7): 1025-1028,1038.
- [69] 孙刚, 王亚飞, 王鑫江, 等. “智慧”海洋网箱平台的开发设计与研究[J]. 科技创新与应用, 2020(9): 34-35,38.  
Sun G, Wang Y F, Wang X J, *et al.* Development, design and research of "smart" marine cage platform[J]. Technology Innovation and Application, 2020(9): 34-35,38 (in Chinese).

## Eco-economic characteristics and development direction of the fish-light complementation

ZHANG Jiahua, LIU Xingguo\*, GU Zhaojun, CHENG Guofeng, ZHU Hao

(Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Fish-light complementation is a clean and efficient production model developed rapidly in recent years, which provides a huge development space for aquaculture. It has the characteristics of clean, low-carbon, and high efficiency. However, there are some problems, such as blank basic research, irregular facility system, insufficient aquaculture technology, and so on. This paper introduces the concept and characteristics of fish-light complementation in detail, analyzes the economic, ecological, and social values of fish-light complementation, and puts forward development suggestions combined with the problems existing in the development process. This study may provide a reference for promoting the healthy and sustainable development of the fish-light complementation industry in China. By fish-light complementation, the solar module has a high power conversion efficiency due to the low surface temperature near the water; the evaporation rate of the water surface is reduced by more than 70% due to solar panels, which saves a lot of water for aquaculture; environmentally friendly aquaculture and power generation models promote the redevelopment of the ecosystem; we can use the smart fishery system to control the aquaculture environment, thereby increasing the growth rate of fish and improving the economic benefits of aquaculture. In addition, from the perspective of energy-saving and emission reduction, if the national average light intensity is combined with the complementary technology of fishing and light, based on the aquaculture area currently in use, it will be able to generate more than 50 megawatt-hours of electricity each year and save about 18 billion tons of coal and reduce 49.85 megatons of carbon dioxide emissions.

**Key words:** fish-light complementation; photovoltaic; aquaculture; energy conservation

**Corresponding author:** LIU Xingguo. E-mail: liuxingguo@fmiri.ac.cn

**Funding projects:** National System of Modern Agriculture Industrial Technology (CARS-46)